

전리방사선 센서용 MOS Capacitors의 구조적 변화에 따른 감도 특성 분석

*황 영관, 이 남호, 이 현진
한국 원자력 연구원

e-mail : yghwang@kaeri.re.kr, nhlee@kaeri.re.kr, leehj@kaeri.re.kr

Sensitivity Analysis of the Structural Characteristics of the MOS Capacitors for Sensing the Ionizing Radiation Effects.

*Young-Gwan Hwang, Nam-Ho Lee, Hyun-Jin Lee
Korea Atomic Energy Research Institute

Abstract

The study presents the results of the analysis on the structural characteristics of MOS capacitor for sensing the ionizing radiation effect. Increasing the thickness of MOS capacitor's oxide layer enhanced the sensitivity of MOS capacitor under irradiation condition, but the sensitivity of irradiated MOS capacitor is uninfluenced by the area of MOS capacitor.

I. 서론

MOS기반 소자에서 전리 방사효과에 관한 연구는 지난 수 십 년간에 걸쳐 활발하게 진행되어 왔다.[1,2] 이러한 연구들의 목적은 Van Allen 방사선대를 지나는 통신위성이나 원자력 시설의 회로 그리고 MOS 기반 소자의 동작에 관한 유용한 정보를 제공하는 것이다. 또한 전리방사선에 민감한 MOS구조를 이용하면 방사선량 측정에 필요한 고감도 센서를 개발 할 수 있다. 본 연구에서는 MOS Capacitor에서의 전리 방사선 효과에 대하여 소자의 구조적 변수가 방사선 센서의 감도에 어떤 영향을 주는 지에 관하여 실험

하였다. 연구수행 방법으로 Matlab을 이용하여 소자의 구조적 변수를 변화시켜 수행한 모의실험의 결과와 다양한 구조의 실제 소자 제작을 통한 방사선 특성분석 실험을 통해 얻은 데이터를 비교, 분석하였다.

II. 이론적 배경

MOS 구조에 방사선이 피폭되면 전리 에너지 손실에 의해 전자-정공 쌍이 생성된다. 이때 생성된 전자는 금속 게이트로 향하게 되고, 방사유기된 정공은 산화막 내의 포획자에 포획되어 소자에 바이어스가 인가되면 포획자를 따라 반도체의 계면에 도달한다. 이때 일부는 포획면에 포획되고 나머지는 실리콘으로 흐르게 된다. 이처럼 방사선 피폭에 의해 산화막과 계면에 축적되는 정공은 양전하를 띠고 있으며 MOS의 평탄대 전압을 변화시켜 MOS의 문턱전압을 감소시키게 되는데 이를 수식적으로 표현하면

$$V = - Q_{sr}/C_{ox} + \psi_{sr} + \Delta V_{FB}$$

와 같다. 여기서 V 는 게이트에 공급한 전압이며, Q_{sr} 은 전리방사 후에 산화막 내의 공간전하를 가우스법칙을 이용하여 구한 값이다. 또한 ψ_{sr} 은 전리 방사 후의 반도체의 표면 전위를 말하며, ΔV_{FB} 는

평탄대 전압의 변화량을 의미하고, C_{ox} 는 산화막 커패시턴스 값이다.

전리방사선에 의해 반도체의 표면 전위가 변화하게 되면 MOS 커패시턴스에서 커패시턴스 값의 변화를 일으키는데 이를 수식적으로 나타내면

$$C_r = C_{FB} \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1 - \exp(-\beta\psi_{sr})}{[\exp(-\beta\psi_{sr}) + \beta\psi_{sr} - 1]^{1/2}}$$

로 표현 될 수 있다. 여기서 β 는 300K에서의 열 전압의 역수를 의미하고 C_{FB} 는 평탄대 커패시턴스의 값을 말한다.

III. 실험 및 결과

앞서 전개한 수식을 바탕으로 전리방사현상을 시뮬레이션 한 결과를 그림 1과 그림 2에 나타내었다. 그림 1(a)는 각 두께별 방사선량에 대한 전압특성으로 C-V곡선으로부터 추출한 값이다. 그림 1(b)는 두께에 따른 감도를 나타낸 것으로 그림 1(a)의 그래프들의 변화량으로부터 얻었다. 그림 2(a)는 각 면적에 대한 총 방사선량에 대한 전압 특성이며, 이를 이용해 그림 2(b)의 결과를 얻을 수 있었다.

그림 3(a)는 산화막의 두께를 0.5, 1.0, 1.5 μm 로 각

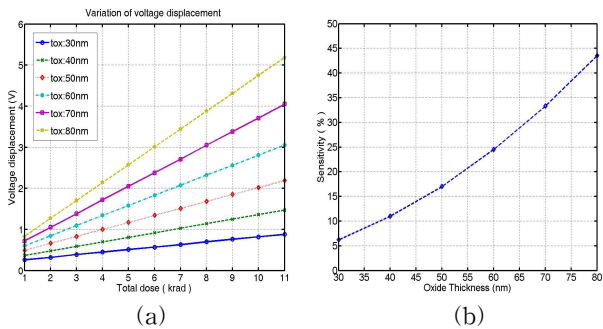


그림 1. (a) 산화막 두께 변화에 대한 방사선량별 전압특성 (b) 산화막 두께에 대한 감도 그래프

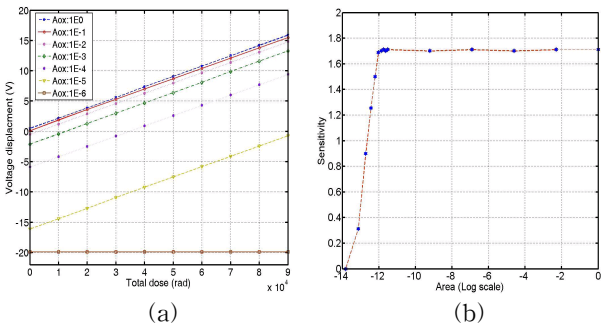


그림 2. (a) 면적 변화에 대한 방사선량별 전압특성 (b) 면적 변화에 대한 감도 그래프

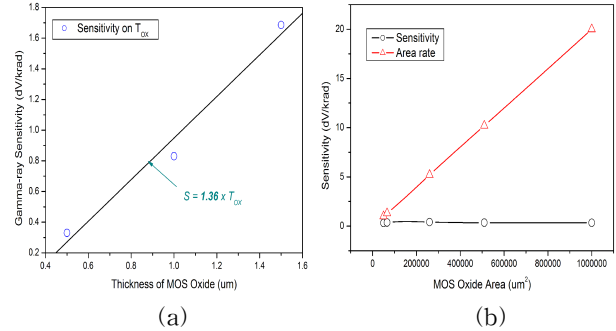


그림 3. (a) MOS 두께별 감마 광 감도 변화 (b) MOS 면적별 감마 광 감도 변화

각 제작한 소자를 이용하여 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 선원을 조사실험을 하고 C-V 측정값으로부터 V_{TH} 의 기울기의 변화량으로 도시한 것이고, 그림 3(b)는 산화막의 두께를 0.5 μm 로 하여 각기 다른 면적으로 제작된 소자에 대한 C-V 측정값으로부터 구한 문턱 전압의 변화를 나타낸 결과이다. 실험 결과에서 볼 수 있듯이 소자의 방사선에 대한 감도는 산화막의 두께에 비례하고, 면적에 무관한 것을 알 수 있다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 MOS 소자의 산화막 두께에 비례하여 방사선 영향에 의한 내부전하 발생 및 축적이 증가함으로서 V_{TH} 의 변화량이 증가함을 확인하였고, 면적의 변화에 대해서는 V_{TH} 의 변화량이 일정하다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과를 통해 방사선에 민감한 변화를 가지는 MOSFET를 제작하기 위해서는 보다 큰 산화 막의 두께 값을 가져야 함을 알 수 있다.

이러한 결과를 바탕으로 구조적 변수에 대한 추가적인 실험을 통해 정량적인 결과를 얻는다면 향후 방사선에 민감한 MOSFET 방사선 센서의 개발하는데 있어 유용한 자료가 될 것이다.

참고문헌

[1] R. K. Chauhan, P. Chakrabarti, Effect of ionizing radiation on MOS capacitors, Microelectronics Journal, Vol.33, 2002, pp. 197 - 203.
 [2] T.P. Ma, Paul V. Dressendorfer, Ionizing radiation effect in MOS devices and circuits, JOHN WILEY & SONS, 1989 Chapter 4-5.